



上海市“十四五”温室气体与 大气污染物协同控制 研究报告 (摘要)

上海市经济信息中心
上海市环境科学研究院
2021年12月

关于作者¹

刘 佳，上海市经济信息中心绿色发展研究中心主任、上海市碳中和促进中心秘书长，长期从事碳交易、碳排放核算及政策制定等节能减排领域各项重要工作。liuja@sheic.org.cn。

蒋文闻，上海市经济信息中心绿色发展研究中心副主任，擅长电力行业碳排放核算及方法学研究，污染物协同研究等重点工作。jiangwenwen@sheic.org.cn。

梁天娟，上海市经济信息中心绿色发展研究中心研究员，擅长钢铁等行业碳排放核算及节能减排工作。liangtianjuan@sheic.org.cn。

徐玲玲，上海市经济信息中心绿色发展研究中心研究员，擅长能源电力、工业等重点领域碳排放核算及节能减排工作。xll@sheic.org.cn。

张东海，上海市经济信息中心绿色发展研究中心研究员，擅长能源电力等重点领域碳排放核算、能源及碳排放领域数学模型研究。zhangdonghai@sheic.org.cn。

荣燕燕，上海市经济信息中心绿色发展研究中心研究员，擅长石化化工等重点行业碳排放核算及节能减排工作。ryanyan@sheic.org.cn。

胡 静，上海市环境科学研究院低碳经济研究中心主任，高级工程师，研究领域：环境管理与低碳经济。长期从事绿色低碳规划与评估、现代环境治理体系建设、减污降碳协同政策研究等。huj@saes.sh.cn。

戴 洁，上海市环境科学研究院低碳经济研究中心高级工程师，擅长温室气体排放核算、预测及减排分析，以及减污降碳协同机制研究。daij@saes.sh.cn。

赵 敏，上海市环境科学研究院低碳经济研究中心高级工程师，擅长能源、废弃物等领域碳排放和生态碳汇研究。zhaom@saes.sh.cn。

李立峰，上海市环境科学研究院低碳经济研究中心高级工程师，擅长低碳园区、环境管理等领域研究。lilf@saes.sh.cn。

李月寒，上海市环境科学研究院低碳经济研究中心工程师，擅长宏观经济及能源-环境-经济综合成本效益分析。yhli@sthj.shanghai.gov.cn。

钱美尹，上海市环境科学研究院低碳经济研究中心助理工程师，擅长温室气体核算模型应用分析研究。837288251@qq.com。

黄成，上海市环境科学研究院大气所所长，国家环境保护城市大气复合污染成因与防治重点实验室主任，主要从事大气污染来源与防治相关研究。huangc@saes.sh.cn。

戴海夏，上海市环境科学研究院大气所高级工程师，主要研究领域包括大气污染防治政策和空气污染人群健康效应及风险评估。daihx@saes.sh.cn。

安静宇，上海市环境科学研究院大气所工程师，主要从事大气复合污染数值模拟与防控对策相关研究。anjy@saes.sh.cn。

胡馨遥，上海市环境科学研究院大气所高级工程师，主要研究方向为污染源排放测量、内燃机替代燃料应用与后处理系统、车联网技术应用。huqy@saes.sh.cn。

田俊杰，上海市环境科学研究院大气所助理工程师，主要从事大气污染源排放特征及排放清单相关研究。987613712@qq.com。

致谢

本研究由上海市经济信息中心、上海市环境科学研究院统筹撰写，由能源基金会提供资金支持。

在本项目研究过程中，研究团队得到了上海市城乡建设和交通发展研究院的大力支持，在此向他们表示诚挚感谢。

¹ 报告作者按单位排序。

研究团队同时感谢以下专家在项目研究过程中作出的贡献:

田春秀, 生态环境部环境与经济政策研究中心

柴麒敏, 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心战略规划研究部

雷宇, 生态环境部规划院大气规划研究所

刘强, 儿童投资基金会(英国)中国办公室

张强, 清华大学地球系统科学研究中心

修光利, 华东理工大学资源与环境工程学院

包存宽, 复旦大学环境科学与工程系

蒋平, 复旦大学环境科学与工程系

朱洪, 上海市城乡建设和交通发展研究院上海城市综合交通规划研究所

邵丹, 上海市城乡建设和交通发展研究院上海城市综合交通规划研究所

郭萍, 中国东方航空股份有限公司

钱岚, 上海国际港务(集团)股份有限公司

-----报告正文-----

目 录

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 一、项目背景、目标和主要技术路线 | 1 |
| (一) 背景和研究必要性..... | 1 |
| (二) 研究目标..... | 1 |
| (三) 主要技术路线..... | 2 |
| 二、上海市“协同控制”量化分析 | 3 |
| (一) 协同控制政策评估方法..... | 3 |
| (二) 数据资源和专题调研..... | 4 |
| (三) 宏观协同效应量化分析..... | 4 |
| (四) “十三五”主要“协同控制”措施量化分析..... | 5 |
| 三、上海市“十四五”协同控制措施及成本效益分析 | 12 |
| (一) “十四五”协同控制措施主要建议..... | 12 |
| (二) “十四五”新增措施量化分析..... | 14 |
| (三) “十四五”新增措施减排成本分析..... | 16 |
| 四、进一步完善“协同控制”的政策建议 | 17 |
| (一) 完善体制机制协同..... | 17 |
| (二) 推动具体工作协同..... | 18 |
| (三) 强化保障措施协同..... | 18 |

一、项目背景、目标和主要技术路线

（一）背景和研究必要性

习近平总书记在第七十五届联合国大会上提出“双碳”目标。2020年9月22日，习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上作出重要宣示：中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。

中央经济工作会议将“做好碳达峰、碳中和工作”确定为2021年八项重点任务之一。2020年12月，中央经济工作会议提出“要抓紧制定2030年前碳排放达峰行动方案，支持有条件的地方率先达峰。要加快调整优化产业结构、能源结构，推动煤炭消费尽早达峰，大力发展新能源，加快建设全国用能权、碳排放权交易市场，完善能源消费双控制度。要继续打好污染防治攻坚战，实现减污降碳协同效应。”

生态环境部下发碳达峰指南及减污降碳协同工作指导意见。2021年1月，生态环境部发布《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》（环综合〔2021〕4号），提出“突出协同增效，把降碳作为源头治理的‘牛鼻子’，协同控制温室气体与污染物排放”。

（二）研究目标

本项目通过对上海市温室气体与大气污染物在协同控制方面的历史沿革、问题和挑战、发展趋势等重要问题开展研究，通过定性和定量分析相结合的方法，提出上海市在“十四五”期间源头协同、过程

协同、末端协同以及治理体系协同方面可以采取的措施，对协同控制目标、重点行业协同控制技术路径、协同控制所需要的治理体系创新等提出建议，为上海市生态环境、发展改革、经济和信息化以及交通主管部门协同制定各领域“十四五”专项规划提供政策建议，同时为《上海市减污降碳协同增效实施方案》编制工作提供支撑。

（三）主要技术路线

1、“协同效应”的定性分析和定量分析

深入分析上海市温室气体排放总量和结构特点、经济发展目标和产业政策导向等因素，结合碳达峰碳中和工作最新要求，研究上海市“十四五”期间温室气体排放和主要大气污染物排放的控制目标。分析电力、钢铁、化工、航空、农业和废弃物处理等重点行业和部门的温室气体（CO₂）和主要大气污染物（SO₂、NO_x、VOCs、PM_{2.5}）的排放贡献率，根据温室气体排放贡献率和大气污染排放贡献率二者之间的相关性对重点行业和部门内的“协同效应”开展定性和定量分析。对重点行业和部门的“协同效应”和“减排潜力”进行分类和排序，对实施效果进行综合评估。

2、重点行业和部门协同控制技术实现路径研究

量化分析各种“源头控制措施”及其组合在重点行业和部门（如电力、钢铁、化工、集成电路、水运港口、航空、城市交通、物流等）内对大气污染物排放的“协同效应”。结合“十四五”大气污染物控制目标，研究提出重点行业和部门治理大气污染物的技术路线，即大气污染物的“治理措施”。结合上海市环境治理体系特点，提出考虑“协同效

应”的“源头控制措施”和“治理措施”的“成本-效益”量化方法。对措施开展“成本-效益”分析，形成量化研究结论。

3、协同控制的环境治理体系创新研究

根据温室气体与大气污染物协同控制的多情景技术实现路径，结合目前上海市温室气体与大气污染物治理体系现状，开展创新协同环境治理体系的研究，研究方向包括：顶层设计层面的立法和规划协同；制度体系建设协同（包括清单体系、许可证体系、环评体系、排放标准体系、监测体系、执法管理体系、长三角一体化等）；跨行业 and 部门层面的管理工作协同（包括完善节能减排领导小组工作机制、能源和环境发展目标设定、政策措施选取、重大项目论证等）；能源和环境市场调控机制层面的协同。

4、政策建议

基于上述研究，为上海市在目标协同、政策协同、技术协同、重点行业协同、治理体系协同等方面提出政策建议。提出上海市在“十四五”期间可使用的协同减排“技术措施库”。

二、上海市“协同控制”量化分析

（一）协同控制政策评估方法

碳排放分析方面，主要基于项目组自建的基于 CGE 和 GREAT 模型的经济-能源-碳排放的综合模型。空气质量分析方面，主要采用了本地化的气象化学耦合模型（WRF-CMAQ），详见图 1。

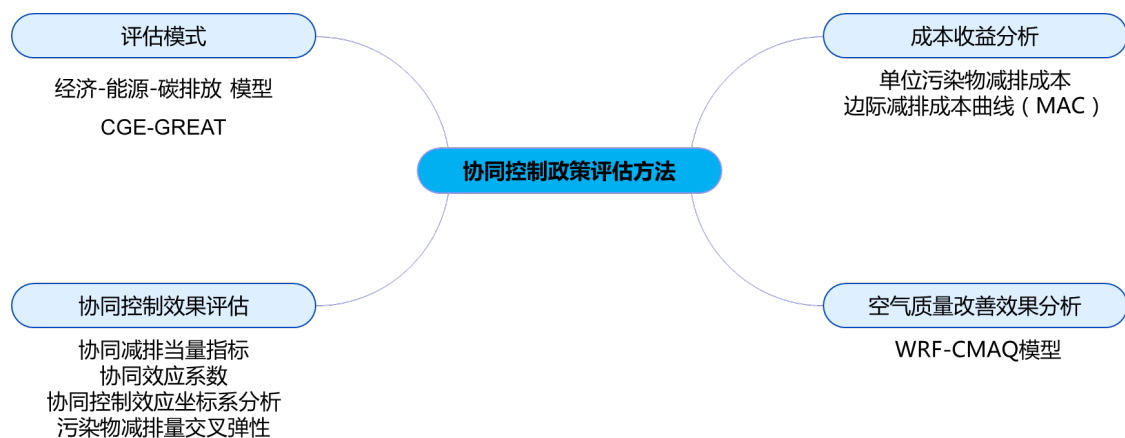


图 1 协同控制政策评估方法

成本效益分析反映减排政策措施实施的减排潜力和成本大小，首先根据归一化减排当量计算方法将每种措施的单位减排当量成本（边际减排成本）进行量化，然后按照优先度由低到高进行排序，最后画出边际减排成本曲线（MAC）。

（二）数据资源和专题调研

温室气体与大气污染物协同效应分析需要的数据量较大，本次研究通过相关平台数据、调研座谈等形式，收集分析相关数据及实施效果。主要包括重点用能单位能源利用状况、温室气体排放、碳交易、排污许可证等各大平台数据。全市温室气体排放、污染物排放、能源统计数据、交通年度报告等宏观统计数据。控制温室气体排放工作、产业结构调整、锅炉清洁能源替代、交通行业节能降耗工作等主管部门工作报告。同时，为了解政策实际效果及未来政策措施可实施性，调研了港口、航空、电厂、钢铁、化工等重点企业，通过专题调研数据的形式，整理了企业调研数据等。

（三）宏观协同效应量化分析

上海市大气污染物与温室气体排放同根同源性较高，2019 年电

力、工业和交通三大领域主要因使用化石能源贡献了 92%的碳排放以及 88%的大气污染物排放。上海在地碳排放量（不含航空水运排放以及外来电间接排放）在 2011 年-2020 年间，降幅达到了 17%。在此期间细颗粒物浓度从基准年 2013 年的 62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降到 2019 年的 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 2020 年的 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，充分体现了“减污降碳、协同增效”的必要性和可行性。

从十三五“变动率”的协同性来看，交通领域的协同性最好，其次是工业领域和电力热力领域。其中 PM_{2.5} 与 CO₂ 的协同效果最好，其次是 SO₂ 和 NO_x。VOCs 由于与化石燃料燃烧关系不大，主要与产业结构有关，因此与 CO₂ 的协同性相对较弱。（详见表 1）

表 1 2015-2019 年碳排放和大气污染物排放变动率

| 领域 | CO ₂ | SO ₂ | NO _x | 一次 PM _{2.5} | VOCs |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|------|
| 能源加工转换 (电力热力) | -9% | -35% | -29% | -24% | -3% |
| 工业 | -6% | -10% | -16% | -43% | -28% |
| 交通 (城市交通、内河近海航运) | 8% | -53% | -23% | -42% | -19% |
| 建筑 (服务业、居民生活) | -13% | 0% | 0% | -27% | -6% |
| 农业 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 合计 | -6% | -22% | -22% | -32% | -24% |

数据来源：项目组测算

（四）“十三五”主要“协同控制”措施量化分析

1、主要措施初步梳理

根据协同性，确定调研重点企业和重点领域，收集整理了能源电力、工业、交通、建设及生活等五个重点领域的减污降碳主要举措，

详见表 2。

表 2 “十三五”减污降碳分领域主要措施

| 领域 | 细分 | 措施 | 领域 | 细分 | 措施 |
|----------------|-------------|------------------|-----------------|------|-----------------|
| 能源 电力 领域 | 公用电厂 | 煤炭消费总量控制 | 交通 领域 | 机动车 | 老旧车柴油货车淘汰 |
| | | 减少市内煤机发电量 | | | 新能源小客车推广替代 |
| | | 高效机组替代低效机组发电量 | | | 新能源公交车推广替代 |
| | | 提高市内燃机发电量 | | | 新能源物流车替代 |
| | | 提高市内可再生能源发电量 | | | 柴油重集卡 LNG 替代 |
| | | 燃煤电厂超低排放改造 | | 港口 | 集装箱水水中转比例提升 |
| | | 燃煤电厂掺烧污泥 | | | 提升集装箱铁水联运量 |
| | 自备电厂 | 减少宝钢自备电厂煤机发电量 | | | 内场集卡 LNG 替代 |
| | | 减少高桥石化自备电厂煤机发电量 | | | 非道路移动机械（轮胎吊）油改电 |
| | | 减少上海石化自备电厂煤机发电量 | | 推广岸电 | |
| | 电网 | 提高市外来电电量 | | 船舶 | 船舶淘汰更新 |
| | | 提高市外可再生能源电力 | | | 推广内河 LNG 动力船舶 |
| | 民用燃烧 | 进一步控制生活用分散燃煤 | | 机场 | 内场非道路移动机械电动化 |
| 工业 和领 域 | 钢铁行业 | 减少生铁产量 | 内场机动车电动化 | | |
| | | 减少焦炭产量 | 桥载岸电替代 APU 供电 | | |
| | | 提升铁钢比 | 提高飞机地面单发滑行比例 | | |
| | | 超低排放改造 | 机场 ACDM 优化滑行路线化 | | |
| 石化行业 | 限制新增石化产能 | 建筑节能 | 加大建筑节能力度 | | |
| | 石化大气污染物治理措施 | | 实施装配式建筑 | | |
| 化工行业 | 化工大气污染物治理措施 | 建筑施 工扬尘 控制 | 施工扬尘控制 | | |
| | 分散燃煤锅炉淘汰 | | 堆场扬尘控制 | | |
| | 燃煤锅炉清洁能源替代 | | 道路扬尘控制 | | |
| 工业锅炉 和窑炉 | 燃煤锅炉大气污染物治理 | 建筑和 市政涂 装 | 大气污染物治理 | | |

| 领域 | 细分 | 措施 | 领域 | 细分 | 措施 |
|----|------|-------------|------|-------|-------------|
| | | 工业炉窑淘汰 | 生活领域 | 废弃物处理 | 废水处理 |
| | | 工业炉窑清洁能源替代 | | | 生活垃圾能源利用 |
| | | 工业炉窑大气污染物治理 | | 生活源 | 餐饮油烟大气污染物治理 |
| | 工业企业 | 淘汰落后产能 | | | 汽修行业大气污染物治理 |
| | 液散码头 | VOCs 治理措施 | | | 干洗行业大气污染物治理 |

2、建立减排量评估方法

根据减排贡献、数据获取情况，通过相关数据整理及边界条件设定，重点围绕 CO₂、SO₂、NO_x、PM_{2.5}、VOC_s 等指标，量化分析了以下 20 项治理措施的在减排量、贡献率、协同性方面的成效，具体内容详见表 3。

表 3 “十三五”减污降碳主要措施及减排量评估方法

| 领域 | 措施 | “十三五”主要措施减排量评估方法 |
|------------|---|--|
| 能源领域 | 减少市内煤机发电量 | 减碳=(基准年煤机发电量-当年煤机发电量)*(基准年煤机碳排放因子-当年煤机碳排放因子) |
| | | 减污=(基准年煤机发电量-当年煤机发电量)*(基准年煤机各污染物排放因子-当年煤机各污染物排放因子) |
| | 提高市内燃机发电量 | 假定燃机替代煤机电量 减碳=(当年燃机发电量-基准年燃机发电量)*(当年煤机碳排放因子-当年燃机碳排放因子) 减污=(当年燃机发电量-基准年燃机发电量)*(当年煤机各污染物排放因子-当年燃机各污染物排放因子) |
| | | 假定平均替代本地火电电量 减碳=(当年燃机发电量-基准年燃机发电量)*(当年火电机组平均碳排放因子-0) 减污=(当年燃机发电量-基准年燃机发电量)*(当年火电机组平均各污染物排放因子-当年火电机组平均各污染物排放因子) |
| 燃煤电厂超低排放改造 | 以超低排放改在导致供电煤耗上升 1%平均水平计算减碳负协同 减碳=-当年煤机发电量*当年煤机碳排放因子*1% 减污=当年煤机发电量*(改造前煤机各污染物排放因子-改造后煤机各污染物排放因子) | |

| 领域 | 措施 | “十三五”主要措施减排量评估方法 |
|------|---------------|--|
| | 燃煤电厂掺烧污泥 | 以3吨污泥额外配烧3吨煤炭计算减碳负协同 减碳= $-(\text{当年污泥掺烧量} \times 3 / \text{煤机发电煤耗}) \times \text{当年煤机碳排放因子}$ 减污= $-(\text{当年污泥掺烧量} \times 3 / \text{煤机发电煤耗}) \times \text{当年煤机各污染物排放因子}$ |
| | 提高市外来电量 | 假定平均替代本地火电电量，间接碳排放进行核算，间接污染物排放不予核算 减碳= $(\text{当年市外来电增量} - \text{基准年市外来电电量}) \times (\text{当年火电机组平均碳排放因子} - \text{当年市外来电平均碳排放因子})$ 减污= $(\text{当年市外来电增量} - \text{基准年市外来电电量}) \times (\text{当年火电机组平均各污染物排放因子})$ |
| | 提高市外可再生能源电力电量 | 同提高市内可再生能源发电量 |
| 工业领域 | 淘汰落后产能与改造升级 | “十三五”实际执行情况 |
| | 分散燃煤工业锅炉淘汰 | |
| | 钢铁行业提升铁钢比 | 理论值，铁钢比每变化1%可以减少的碳和污染物 |
| | 钢铁行业超低排放改造 | 理论值 |
| | 石化行业限制新增产能 | 计算拟新上项目加工每万吨原油的碳排放和污染物排放 |
| 交通领域 | 老旧车柴油货车淘汰 | 减碳= $\text{淘汰数量} \times \text{上年车里程} \times (\text{国三碳排放因子} - \text{国五污染物排放因子})$ 减污= $\text{淘汰数量} \times \text{上年车里程} \times (\text{国三污染物排放因子} - \text{国五污染物排放因子})$ |
| | 新能源小客车推广替代 | 减碳= $\text{新增数量} \times \text{单车行驶里程} \times (\text{燃油车碳排放因子} - \text{电动车间接碳排放因子})$ 减污= $\text{新增数量} \times \text{单车行驶里程} \times (\text{燃油车污染物排放因子} - \text{电动车间接污染物排放因子})$ 电动车间接污染物排放因子= $\text{全市发电部门污染物排放量} / \text{全市全社会用电量} \times \text{电动车百公里电耗}$ |
| | 港口内集卡LNG替代 | 减碳= $\text{新增数量} \times \text{单车行驶里程} \times (\text{燃气车碳排放因子} - \text{燃油车间接碳排放因子})$ 减污= $\text{新增数量} \times \text{单车行驶里程} \times (\text{燃气车污染物排放因子} - \text{燃油车间接污染物排放因子})$ |
| | 港口非道路移动机械电动化 | 减碳= $\text{新增数量} \times \text{单车行驶里程} \times (\text{燃油车碳排放因子} - \text{电动车间接碳排放因子})$ |

| 领域 | 措施 | “十三五”主要措施减排量评估方法 |
|------|--------------|---|
| | | 减污=新增数量*单车行驶里程*(燃油车污染物排放因子-电动车间接污染物排放因子) 电动车间接污染物排放因子=全市发电部门污染物排放量/全市全社会用电量*电动车百公里电耗 |
| | 港口岸电推广 | 减碳=港口岸电使用量*(燃油碳排放因子-电力碳排放因子) 减碳=港口岸电使用量*(燃油污染物排放因子-电力污染物排放因子) |
| | 机场非道路移动机械电动化 | 减碳=新增数量*单车行驶里程*(燃油车碳排放因子-电动车间接碳排放因子) 减污=新增数量*单车行驶里程*(燃油车污染物排放因子-电动车间接污染物排放因子) 电动车间接污染物排放因子=全市发电部门污染物排放量/全市全社会用电量*电动车百公里电耗 |
| 建筑领域 | 扬尘控制 | “十三五”实际效果 |

3、重要措施减排量及协同性量化评估

项目组根据上述量化分析方法,在广泛搜集、梳理数据的基础上,对上海市“十三五”期间最重要的减污降碳治理措施二氧化碳和主要大气污染物的协同减排情况进行了量化分析,详见图2、图3。

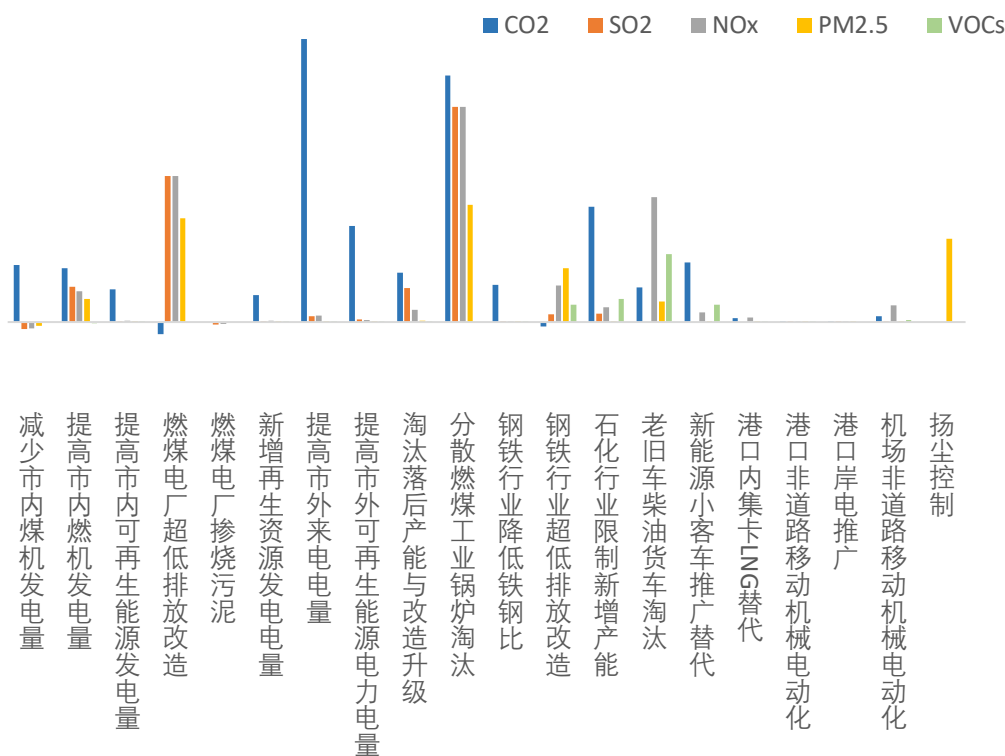


图 2 “十三五”减污降碳重要措施减排量及其协同性

注：由于二氧化碳和大气污染物的数量级差异较大，本图对原始数据进行了变通处理。

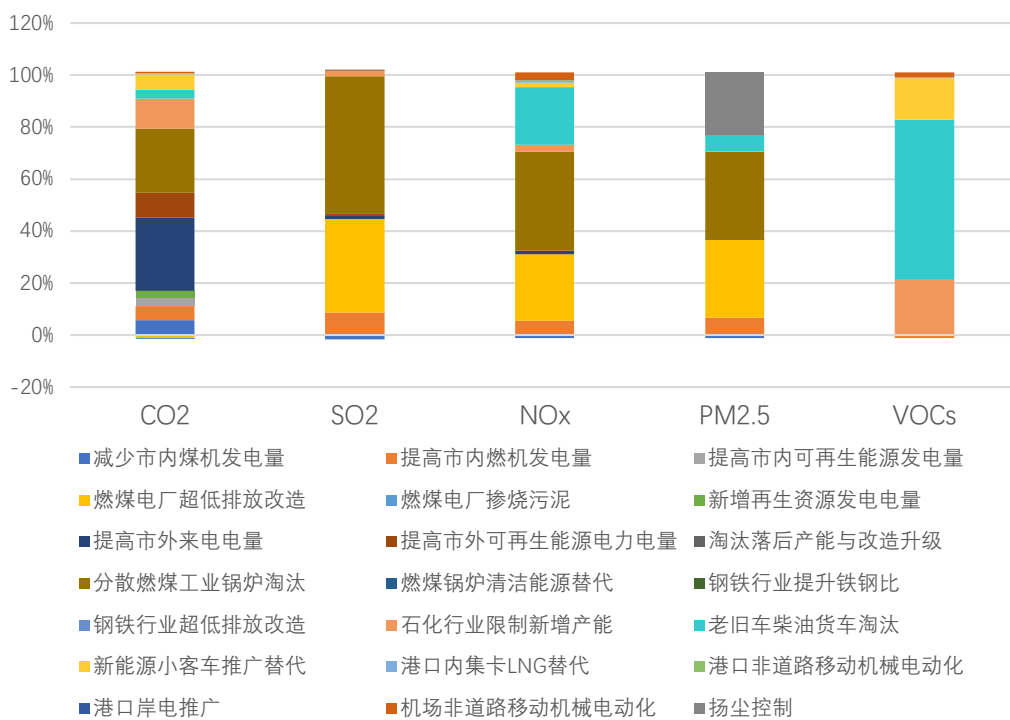


图 3 “十三五”减污降碳重要措施减排贡献率及其协同性

为进一步直观分析各措施的协同效果，本次分析采用“协同控制效应坐标系分析”方法，在四维欧氏空间坐标系中，以不同的坐标表达减排措施对于污染物和二氧化碳的减排效果，详见图 4。

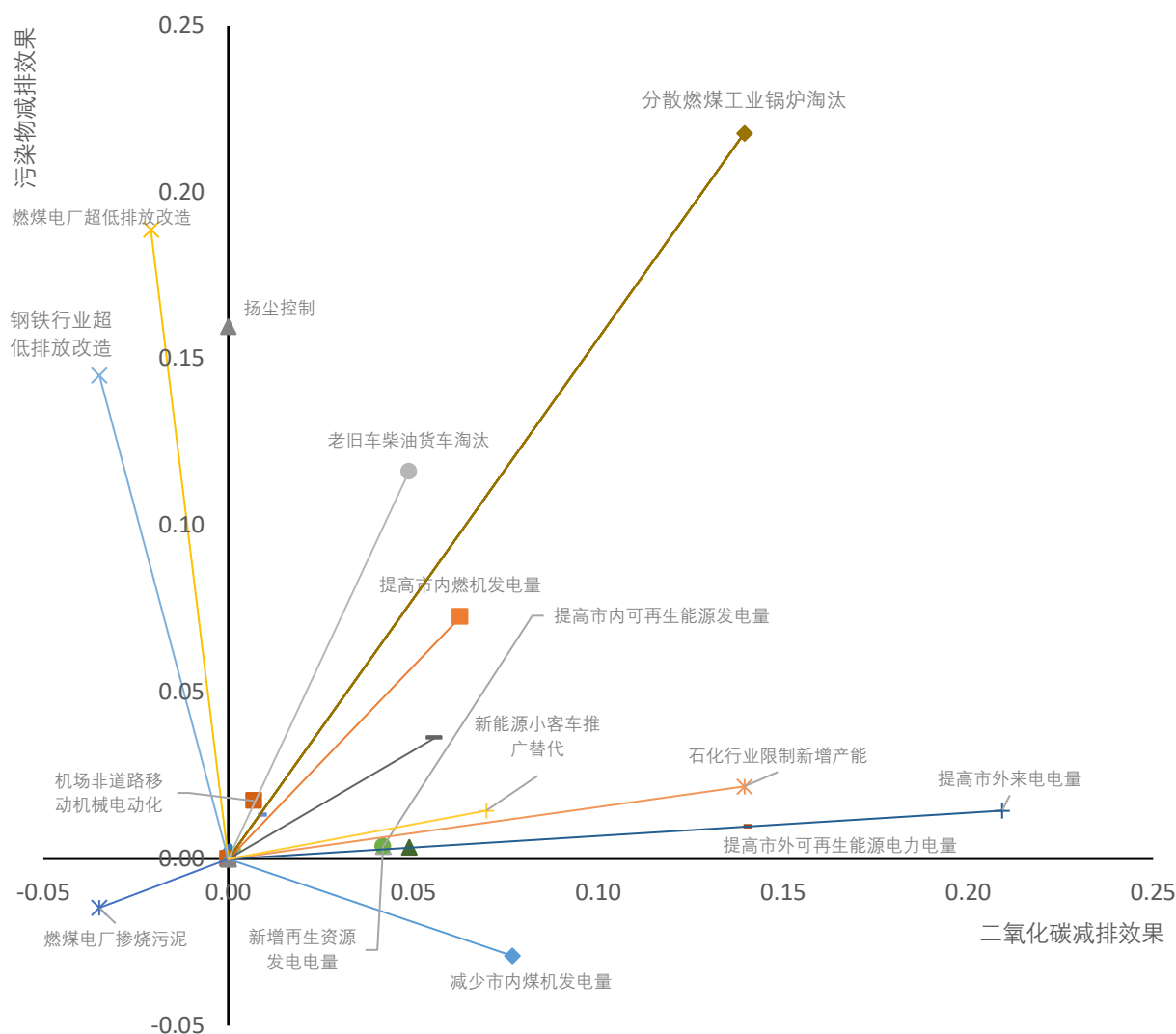


图 4 “十三五”减污降碳重要措施协同效应坐标系分析

典型措施看，削减煤炭消费的协同效应最好。“十二五”以来上海市大力优化能源结构，持续削减煤炭消费，通过分散燃煤治理和清洁能源替代等措施，煤炭消费总量从 2011 年的 6100 万吨左右下降到 2019 年的 4200 万吨左右，降幅达 31%。通过采取源头减量措施，使得煤炭消费碳排放量减少 34%的同时，大气污染物排放量协同减少

40%。

4、量化分析主要结论

一是“十三五”减污降碳重要措施效果各有不同。源头减量替代措施，协同效果最好，未来重要性更加凸显。部分协同效果好的措施，未来挖潜空间不足，需要研究确定新的重点措施。坚决遏制“两高”项目盲目发展是确保完成控温目标的重要抓手。大气污染物末端治理措施碳排放负协同效应不高，但减污贡献率很高。

二是探索协同成本分析，为政策制定提供依据。从各项政策效果看，对减污降碳起到了积极作用，但是要区分不同措施的贡献率，后续开展重大政策措施开展经济成本评估，形成减污降碳措施成本曲线，对于政府政策制定提供重要参考。

三是新的“负协同”问题需要关注解决。实施减少煤机发电措施，污染物排放增加，因此，需要加强对煤炭质量的管控，从源头减少污染物产生。若采用天然气替代煤炭发电，可以实现减碳 50%的目标，但是其 NO_x 排放将增加 2-3 倍，建议参考北京市、深圳市的做法，对天然气电厂排放标准进行修定，提高污染物排放标准，降低氮氧化物排放。

三、上海市“十四五”协同控制措施及成本效益分析

（一）“十四五”协同控制措施主要建议

根据上海已经开展的系列工作及取得的成效，结合“十四五”重点工作，在“十三五”协同控制措施基础上，初步建议围绕能源领域、工业领域、交通领域、建筑领域等重点领域，新增十项协同控制措施。

叠加“十三五”政策措施情况，各领域主要协同控制措施详见表 4。

表 4 “十四五”协同控制措施

| 主要部门 | 领域 | 具体措施 (其中加粗字体为新增措施) |
|---------|----------------------|-----------------------------------|
| 能源电力部门 | 公用电厂 | 煤炭消费总量控制 |
| | | 减少市内煤机发电量 |
| | | 高效机组替代低效机组发电量 |
| | | 提高市内燃机发电量 |
| | | 提高市内可再生能源发电量 |
| | | 燃煤电厂超低排放改造 |
| | | 燃煤电厂掺烧污泥 |
| | 自备电厂 | 减少宝钢自备电厂煤机发电量 |
| | | 减少高桥石化自备电厂煤机发电量 |
| | | 减少上海石化自备电厂煤机发电量 |
| | 电网 | 提高市外来电电量 |
| | | 提高市外可再生能源电力 |
| | 民用燃烧 | 进一步控制生活用分散燃煤 |
| 电力装机结构， | 煤机能效提升，新上燃机机组 | |
| 氢能 | 氢能（燃料电池）推广利用 | |
| 工业和领域 | 钢铁行业 | 减少生铁产量 |
| | | 减少焦炭产量 |
| | | 提升铁钢比 |
| | | 超低排放改造 |
| | | 低碳冶金，喷吹煤替代 |
| | 石化化工 | 限制新增石化产能 |
| | | 石化大气污染物治理措施 |
| | | 化工大气污染物治理措施 |
| | | 石化化工产业布局优化 |
| | | 完成 VOCs2.0 治理，推进低挥发性原辅材料替代 |
| | 工业锅炉和窑炉 | 燃煤锅炉清洁能源替代 |
| | | 燃煤锅炉大气污染物治理 |
| | | 工业炉窑淘汰 |
| | | 工业炉窑清洁能源替代 |
| | | 工业炉窑大气污染物治理 |
| 工业企业 | 淘汰落后产能 | |
| 液散码头 | VOCs 治理措施 | |
| 交通领域 | 机动车 | 老旧车柴油货车淘汰 |
| | | 新能源小客车推广替代 |
| | | 新能源公交车推广替代 |
| | | 新能源物流车替代 |

| 主要部门 | 领域 | 具体措施 (其中加粗字体为新增措施) |
|-----------------|----------|-----------------------|
| | | 柴油重集卡 LNG 替代 |
| | | 实施机动车国六与非道国四标准 |
| | 港口 | 集装箱水水中转比例提升 |
| | | 提升集装箱铁水联运量 |
| | | 内场集卡 LNG 替代 |
| | | 非道路移动机械（轮胎吊）油改电 |
| | | 推广岸电 |
| | | 水水中转、铁水联运提升 |
| | | 推进外高桥港区等布局调整 |
| | 船舶 | 船舶淘汰更新 |
| | | 推广内河 LNG 动力船舶 |
| | 机场 | 内场非道路移动机械电动化 |
| | | 内场机动车电动化 |
| | | 桥载岸电替代 APU 供电 |
| | | 提高飞机地面单发滑行比例 |
| 机场 ACDM 优化滑行路线化 | | |
| 建设领域 | 建筑节能 | 加大建筑节能力度 |
| | | 实施装配式建筑 |
| | 建筑施工扬尘控制 | 施工扬尘控制 |
| | | 堆场扬尘控制 |
| | | 道路扬尘控制 |
| | | 大力推广装配式建筑 |
| | 建筑和市政涂装 | 大气污染治理 |
| 生活领域 | 废弃物处理 | 废水处理 |
| | | 生活垃圾能源利用 |
| | 生活源 | 餐饮油烟大气污染治理 |
| | | 汽修行业大气污染治理 |
| | | 干洗行业大气污染治理 |

(二) “十四五”新增措施量化分析

1、新增措施减排量及协同性量化分析

参考上文“十三五”减污降碳措施分析方法，结合上海市“十四五”相关政策规划和前期研究基础，项目组对“十四五”主要新增协同控制措施的减排量和协同性进行了量化分析，具体如图 5、图 6 所示。

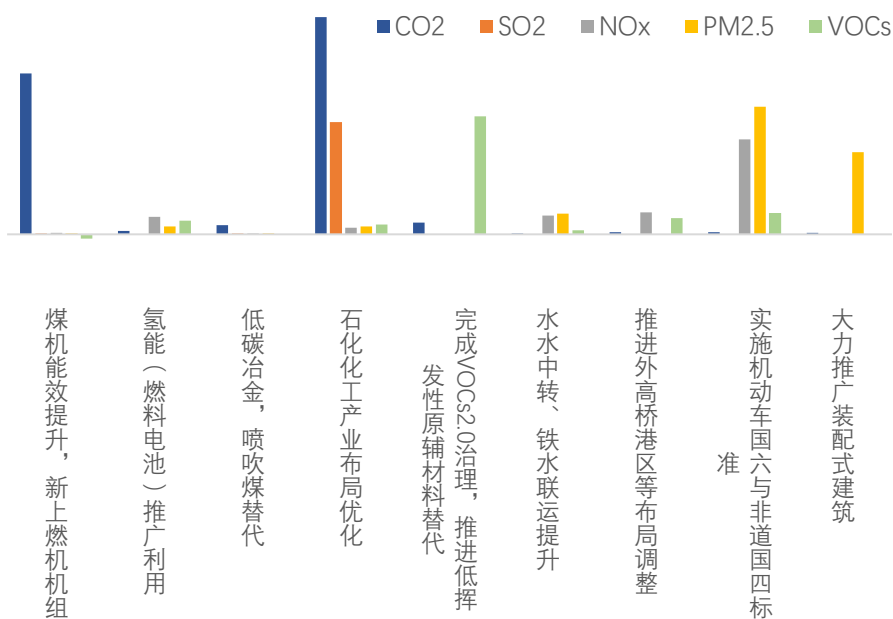


图 5 “十四五”减污降碳新增措施减排量及其协同性

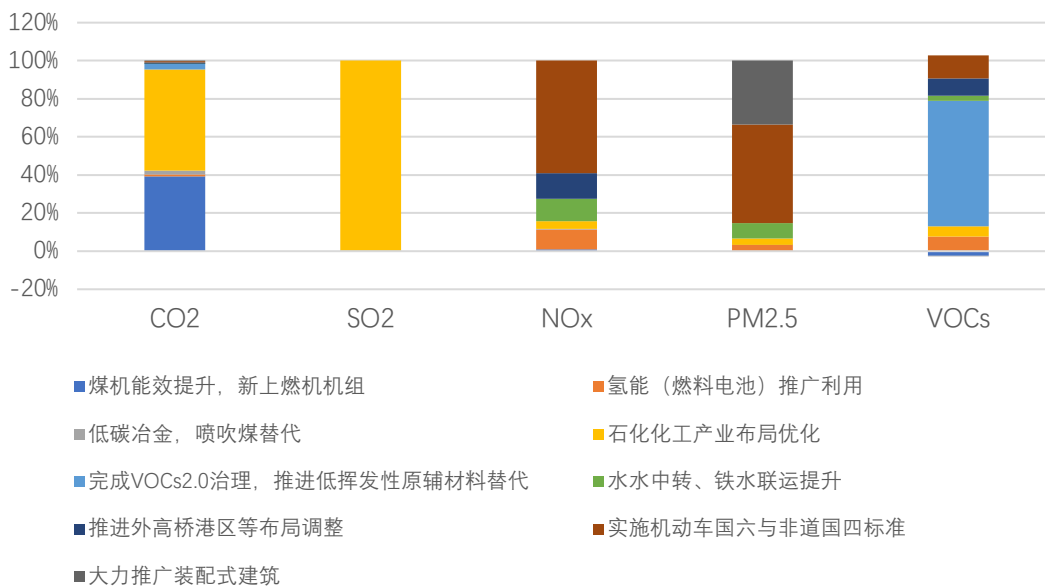


图 6 “十四五”二氧化碳和大气污染物减排贡献率及其协同性

从图 5 的柱状图分布情况可以看出，“十四五”新增措施中，石化化工产业布局优化减排量大、协同效果较好，煤机能效提升，新上燃机机组的碳减排量最大，实施机动车国六与非道国四标准大气污染物减排量最大。

从图 6 的柱状累积图分布情况可以看出，“十四五”新增措施对 NO_x、PM_{2.5} 和 VOC_s 减排的协同性较好，CO₂ 的主要减量措施相对比较集中，SO₂ 减量主要依靠石化化工布局优化来贡献。

2、新增措施协同性与既有措施比较

与“十三五”存量措施相比，“十四五”新增措施的协同性从数据上看相对“变弱”。主要原因是“十二五”以来上海市开展了两轮清洁空气行动计划，重点行业的大气污染物排放标准已经较为严格。新增措施中，从数据统计上能同步减少 CO₂ 和大气污染物排放的就相对变少。

随着上海市工业布局和结构调整逐步完成，移动源大气污染物排放标准进一步提高，预计“十四五”末期，上海市减污降碳工作将由“减污协同降碳”为主阶段进入“降碳协同减污”为主阶段，“十五五”及中长期空气质量的持续深入改善主要依赖于源头降碳措施。

（三）“十四五”新增措施减排成本分析

1、减排成本曲线分析法

首先结合上述对重要措施的梳理，以及数据的可获取性，确定减污降碳措施清单；其次考虑各项措施的发展趋势和制约因素，分析计算各项措施在“十四五”期间的减排潜力，并按照归一化方法将温室气体和大气污染物的减排效果统一到同一尺度上；然后评估各项措施在“十四五”期间的减排成本（包括建设成本和运营成本等），结合归一化后的减排效果计算边际减排成本；最后将各项措施边际减排成本由低到高进行排序，画出边际减排成本曲线（MAC），包括减排潜力和

边际减排成本。

2、绘制边际减排成本曲线

项目组通过企业调研、专家咨询和文献分析等方法，绘制了上海市“十四五”主要新增措施的减排成本曲线，详见图7。

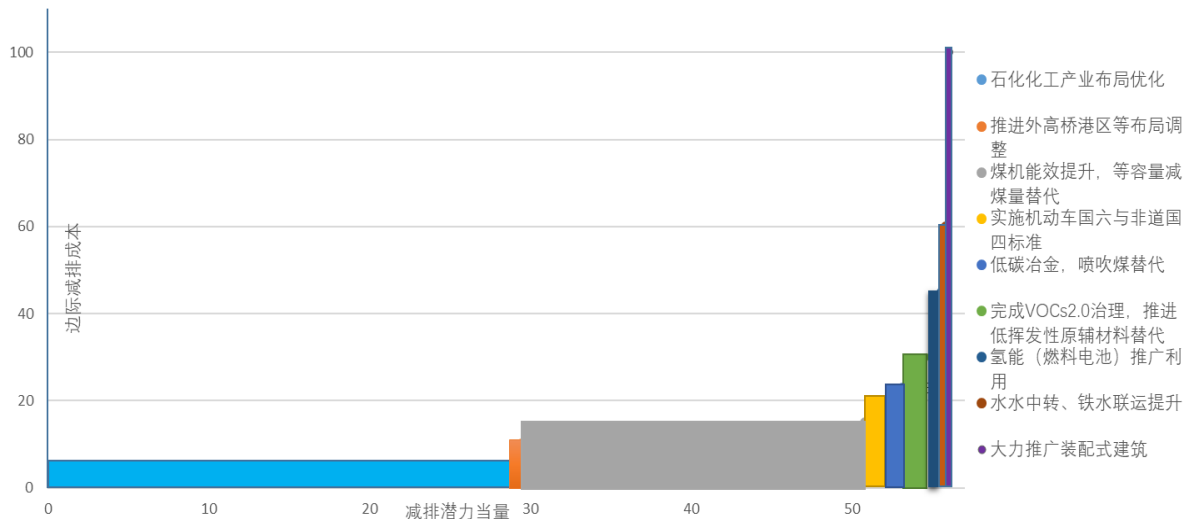


图7 “十四五”部分措施边际减排成本曲线

根据减排成本曲线分解结论，石化化工产业布局优化、煤机能效提升和等容量减煤量替代、氢能（燃料电池）推广利用三项措施能够在较低边际减排成本下实现较高的减排量。

四、进一步完善“协同控制”的政策建议

（一）完善体制机制协同

明确工作机制。明确牵头部门及责任部门职能，将应对气候变化相关目标任务措施与大气污染物年度目标任务分解落实到各部门。**强化规划引领。**结合最新要求，将“碳达峰”和远期“碳中和”相关要求纳入生态环境保护五年规划、环保三年行动计划以及中长期战略规划等。**加强监督考核。**以“十四五”控温目标为依托，明确目标和实施路径，

以及评估考核及环保督察体系。

（二）推动具体工作协同

强化源头防控协同增效。持续深化能耗、碳排放总量和强度双控相关政策。强化生态环境分区管控和生态环境准入管理。推动能源清洁低碳转型，加快培育形成绿色生产生活方式。**突出重点领域协同增效**，深入推动工业、交通、城乡建设、农业等领域协同增效。**提升管理能级协同增效**。定期开展协同效应评估，并针对性制定工作方案。鼓励开展重点领域减污降碳协同控制技术研发、示范与推广。探索大气污染物与温室气体排放清单编制融合，加强重点单位碳排放报告与排污许可管理制度深度融合。探索实施减污降碳重点区域试点示范，强化标杆示范作用。

（三）强化保障措施协同

构建绿色金融和信用保障。积极申报国家气候投融资试点。建立健全绿色金融标准体系、评价体系和信息披露制度。将碳排放合规管理纳入企业环境信用评价体系，并推动长三角联合惩戒。**加大资金政策扶持力度。**充分发挥财政资金的引导作用，鼓励社会资本积极投入。利用税收支持、差别电价等政策扶持发展绿色低碳产业。加大对可再生能源开发、新能源汽车替代、都市型低碳农业等协同减排措施的资金扶持力度。**坚持发挥标准引领作用。**循序推进污染物与温室气体协同控制标准体系建设。优化低碳产品等评价、标识和认证制度。加快研究建立碳普惠方法学及相关技术支撑和管理体系。加强温室气体和大气污染物在各类试点示范工作的协同推进及宣传。

免责声明

若无特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。

凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。